

MENU

SEARCH

INDEX

DETAIL

JAPANESE

NEXT

1 / 3

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-049398

(43)Date of publication of application : 20.02.2001

(51)Int.Cl.

C22C 38/00
 C21D 9/00
 C22C 38/02
 C22C 38/04
 C22C 38/08
 C22C 38/18
 C22C 38/40
 C22C 38/44
 C22C 38/46
 C22C 38/48
 C22C 38/54
 F01D 5/28
 // C22B 9/18

(21)Application number : 11-224250

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 06.08.1999

(72)Inventor : TSUDA YOICHI
 ISHII RYUICHI
 YAMADA MASAYUKI

(54) HIGH TOUGHNESS HEAT RESISTANT STEEL, AND MANUFACTURE OF TURBINE ROTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high toughness heat resistant steel excellent in creep rupture strength at high temperature as well as in tensile strength and toughness at relatively low temperature and suitable for use as a stock for a high- and low-pressure integrated type turbine rotor.

SOLUTION: The steel has a composition consisting of, by weight ratio, 0.05 to 0.30% C, >0 to 0.20% Si, >0 to 1.0% Mn, 8.0 to 14.0% Cr, 0.5 to 3.0% Mo, 0.10 to 0.50% V, 1.5 to 5.0% Ni, 0.01 to 0.50% Nb, 0.01 to 0.08% N, 0.001 to 0.020% B, 0.1 to 2.0% Re, and the balance Fe with inevitable impurities. A steel ingot for a turbine rotor element body is manufactured from the high toughness heat resistant steel with the above composition by using an electroslag remelting process. The turbine rotor element body is heated to 950 to 1,120° C, hardened, and then tempered at 550 to 740° C one or more times and formed into a turbine rotor.

| No. | C | Cr | Mo | V | Ni | Nb | N | B | Re | Si | Mn | Fe |
|-----|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 2 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 3 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 4 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 5 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 6 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 7 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 8 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 9 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 10 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 11 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 12 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 13 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 14 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 15 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 16 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 17 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 18 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 19 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 20 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 21 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 22 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 23 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 24 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 25 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 26 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 27 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 28 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 29 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 30 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 31 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 32 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 33 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 34 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 35 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 36 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 37 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 38 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 39 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 40 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 41 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 42 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 43 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 44 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 45 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 46 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 47 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 48 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 49 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 50 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 51 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 52 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 53 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 54 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 55 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 56 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 57 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 58 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 59 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 60 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 61 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 62 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 63 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 64 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 65 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 66 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 67 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 68 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 69 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 70 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 71 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 72 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 73 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 74 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 75 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 76 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 77 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 78 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 79 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 80 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 81 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 82 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 83 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 84 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 85 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 86 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 87 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 88 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 89 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 90 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 91 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 92 | 0.05 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 1.5 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-49398

(P2001-49398A)

(43)公開日 平成13年2月20日(2001.2.20)

| (51)Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テマコード [*] (参考) |
|--------------------------|-------|---------------|-------------------------|
| C 2 2 C 38/00 | 3 0 2 | C 2 2 C 38/00 | 3 0 2 Z 3 G 0 0 2 |
| C 2 1 D 9/00 | | C 2 1 D 9/00 | N 4 K 0 0 1 |
| C 2 2 C 38/02 | | C 2 2 C 38/02 | 4 K 0 4 2 |
| 38/04 | | 38/04 | |
| 38/08 | | 38/08 | |

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平11-224250

(22)出願日 平成11年8月6日(1999.8.6)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 津田 陽一

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(72)発明者 石井 龍一

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(74)代理人 100087332

弁理士 猪股 祥晃 (外1名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高韌性耐熱鋼およびタービンロータの製造方法

(57)【要約】

【課題】 高低圧一体型のタービンロータの素材として好適な、比較的低温における引張強度と韌性および高温におけるクリープ破断強度がそれぞれ優れた高韌性耐熱鋼を提供すること、並びにこの高韌性耐熱鋼を使用して大容量・高効率発電プラントに好適なタービンロータを製造する方法を提供する。

【解決手段】 重量比で、C:0.05~0.30%、Si:0%より多く0.20%以下、Mn:0%より多く1.0%以下、Cr:8.0~14.0%、Mo:0.5~3.0%、V:0.10~0.50%、Ni:1.5~5.0%、Nb:0.01~0.50%、N:0.01~0.08%、B:0.001~0.020%、Re:0.1~2.0%を含み、残部がFeおよび不可避免の不純物からなる組成とする。この組成の高韌性耐熱鋼からエレクトロスラグ再溶解法を用いてタービンロータ素体用の鋼塊を製造する。このタービンロータ素体を950~1120℃に加熱して焼入れし、その後、550~740℃の焼戻しを1回以上施してタービンロータとする。

| No. | C | Si | Mn | Cr | Mo | V | Ni | Nb | N | B | Re | W | Co |
|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| M1 | 0.12 | 0.07 | 0.07 | 11.86 | 1.60 | 0.20 | 2.59 | 0.06 | 0.021 | 0.008 | 0.52 | - | - |
| M2 | 0.15 | 0.08 | 0.15 | 10.89 | 1.42 | 0.21 | 2.64 | 0.09 | 0.024 | 0.008 | 0.78 | - | - |
| M3 | 0.08 | 0.15 | 0.11 | 10.26 | 1.76 | 0.19 | 2.79 | 0.07 | 0.026 | 0.007 | 0.47 | - | - |
| M4 | 0.21 | 0.06 | 0.10 | 11.82 | 1.80 | 0.24 | 2.35 | 0.08 | 0.024 | 0.005 | 0.46 | - | - |
| M5 | 0.06 | 0.12 | 0.18 | 10.88 | 1.57 | 0.18 | 2.52 | 0.05 | 0.022 | 0.008 | 1.03 | - | - |
| M6 | 0.27 | 0.14 | 0.13 | 11.11 | 1.68 | 0.21 | 2.79 | 0.08 | 0.025 | 0.007 | 0.68 | - | - |
| M7 | 0.13 | 0.08 | 0.19 | 9.89 | 1.78 | 0.22 | 2.31 | 0.08 | 0.021 | 0.008 | 0.79 | - | - |
| M8 | 0.15 | 0.10 | 0.11 | 12.42 | 1.89 | 0.24 | 2.50 | 0.07 | 0.023 | 0.008 | 0.82 | - | - |
| M9 | 0.12 | 0.11 | 0.09 | 8.90 | 1.66 | 0.19 | 2.48 | 0.07 | 0.029 | 0.009 | 0.53 | - | - |
| M10 | 0.13 | 0.09 | 0.16 | 13.23 | 1.31 | 0.20 | 2.85 | 0.11 | 0.030 | 0.008 | 0.81 | - | - |
| M11 | 0.14 | 0.12 | 0.13 | 11.87 | 0.79 | 0.25 | 2.59 | 0.08 | 0.024 | 0.009 | 0.48 | - | - |
| M12 | 0.13 | 0.09 | 0.29 | 10.56 | 2.31 | 0.21 | 2.39 | 0.07 | 0.022 | 0.005 | 0.90 | - | - |
| M13 | 0.12 | 0.11 | 0.15 | 11.01 | 0.60 | 0.19 | 2.63 | 0.09 | 0.031 | 0.006 | 0.27 | - | - |
| M14 | 0.19 | 0.09 | 0.14 | 11.51 | 2.73 | 0.18 | 2.59 | 0.08 | 0.027 | 0.008 | 0.68 | - | - |
| M15 | 0.12 | 0.15 | 0.18 | 11.72 | 1.62 | 0.13 | 2.46 | 0.08 | 0.024 | 0.007 | 0.50 | - | - |
| M16 | 0.14 | 0.08 | 0.12 | 11.85 | 1.71 | 0.34 | 2.70 | 0.10 | 0.022 | 0.008 | 0.36 | - | - |
| M17 | 0.13 | 0.07 | 0.12 | 11.75 | 1.67 | 0.45 | 2.49 | 0.07 | 0.025 | 0.009 | 0.82 | - | - |
| M18 | 0.14 | 0.11 | 0.29 | 10.02 | 1.48 | 0.18 | 1.77 | 0.05 | 0.021 | 0.008 | 1.10 | - | - |
| M19 | 0.16 | 0.16 | 0.10 | 11.83 | 1.79 | 0.22 | 3.51 | 0.08 | 0.023 | 0.007 | 0.41 | - | - |
| M20 | 0.14 | 0.08 | 0.13 | 11.89 | 1.83 | 0.20 | 4.42 | 0.06 | 0.029 | 0.011 | 0.67 | - | - |
| M21 | 0.12 | 0.11 | 0.27 | 10.38 | 1.84 | 0.21 | 2.79 | 0.02 | 0.024 | 0.008 | 0.54 | - | - |
| M22 | 0.14 | 0.15 | 0.12 | 10.69 | 1.72 | 0.22 | 2.52 | 0.22 | 0.025 | 0.007 | 0.39 | - | - |
| M23 | 0.14 | 0.11 | 0.09 | 11.56 | 1.58 | 0.27 | 2.81 | 0.36 | 0.029 | 0.008 | 0.83 | - | - |
| M24 | 0.16 | 0.16 | 0.11 | 11.77 | 1.79 | 0.26 | 2.49 | 0.10 | 0.016 | 0.008 | 0.56 | - | - |
| M25 | 0.12 | 0.08 | 0.17 | 11.84 | 1.88 | 0.24 | 2.41 | 0.09 | 0.044 | 0.006 | 0.51 | - | - |
| M26 | 0.11 | 0.10 | 0.21 | 11.57 | 1.74 | 0.21 | 2.71 | 0.08 | 0.069 | 0.007 | 0.45 | - | - |
| M27 | 0.14 | 0.08 | 0.16 | 10.80 | 1.50 | 0.23 | 2.56 | 0.07 | 0.029 | 0.004 | 0.79 | - | - |
| M28 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 11.51 | 1.70 | 0.23 | 2.68 | 0.08 | 0.027 | 0.014 | 0.29 | - | - |
| M29 | 0.15 | 0.11 | 0.21 | 11.76 | 1.79 | 0.21 | 2.23 | 0.07 | 0.025 | 0.002 | 1.00 | - | - |
| M30 | 0.14 | 0.16 | 0.09 | 11.24 | 1.48 | 0.19 | 2.46 | 0.08 | 0.022 | 0.019 | 0.56 | - | - |
| M31 | 0.13 | 0.08 | 0.18 | 11.82 | 1.86 | 0.19 | 2.74 | 0.05 | 0.023 | 0.008 | 1.53 | - | - |
| M32 | 0.12 | 0.05 | 0.16 | 11.54 | 0.87 | 0.21 | 2.63 | 0.06 | 0.021 | 0.007 | 0.81 | 1.79 | - |
| M33 | 0.14 | 0.18 | 0.10 | 10.82 | 1.06 | 0.20 | 2.43 | 0.08 | 0.025 | 0.006 | 0.86 | 1.09 | - |
| M34 | 0.11 | 0.12 | 0.23 | 11.17 | 1.11 | 0.25 | 2.63 | 0.06 | 0.028 | 0.008 | 0.83 | 0.71 | - |
| M35 | 0.13 | 0.11 | 0.19 | 11.73 | 0.55 | 0.19 | 2.52 | 0.07 | 0.022 | 0.008 | 0.74 | 2.85 | - |
| M36 | 0.15 | 0.08 | 0.09 | 11.73 | 1.10 | 0.19 | 2.56 | 0.10 | 0.030 | 0.007 | 0.39 | 0.43 | - |
| M37 | 0.13 | 0.14 | 0.12 | 11.39 | 0.70 | 0.22 | 2.44 | 0.08 | 0.025 | 0.006 | 0.49 | 3.98 | - |
| M38 | 0.12 | 0.08 | 0.21 | 10.21 | 0.29 | 0.25 | 2.33 | 0.07 | 0.021 | 0.007 | 0.45 | 2.04 | - |
| M39 | 0.14 | 0.12 | 0.18 | 10.83 | 1.41 | 0.22 | 2.67 | 0.08 | 0.024 | 0.009 | 0.68 | 1.35 | - |
| M40 | 0.18 | 0.12 | 0.16 | 11.76 | 0.10 | 0.21 | 2.73 | 0.05 | 0.021 | 0.007 | 0.75 | 2.35 | - |
| M41 | 0.13 | 0.08 | 0.15 | 11.43 | 1.79 | 0.22 | 2.71 | 0.06 | 0.027 | 0.006 | 0.52 | 1.24 | - |
| M42 | 0.15 | 0.16 | 0.10 | 11.83 | 0.72 | 0.20 | 2.52 | 0.05 | 0.024 | 0.008 | 0.83 | 1.88 | 2.78 |
| M43 | 0.12 | 0.08 | 0.13 | 11.37 | 0.59 | 0.24 | 2.75 | 0.06 | 0.027 | 0.008 | 0.68 | 1.74 | 2.03 |
| M44 | 0.14 | 0.11 | 0.09 | 10.58 | 0.93 | 0.23 | 2.37 | 0.07 | 0.031 | 0.007 | 0.89 | 1.36 | 0.92 |
| M45 | 0.14 | 0.07 | 0.13 | 11.25 | 0.81 | 0.23 | 2.49 | 0.07 | 0.022 | 0.006 | 0.53 | 1.64 | 4.25 |

BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量比で、C：0.05～0.30%、Si：0%より多く0.20%以下、Mn：0%より多く1.0%以下、Cr：8.0～14.0%、Mo：0.5～3.0%、V：0.10～0.50%、Ni：1.5～5.0%、Nb：0.01～0.50%、N：0.01～0.08%、B：0.001～0.020%、Re：0.1～2.0%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高韌性耐熱鋼。

【請求項2】 重量比で、C：0.07～0.25%、Si：0%より多く0.20%以下、Mn：0%より多く1.0%以下、Cr：9.0～13.0%、Mo：0.7～2.5%、V：0.10～0.40%、Ni：1.5～4.0%、Nb：0.01～0.30%、N：0.01～0.06%、B：0.003～0.015%、Re：0.1～1.2%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高韌性耐熱鋼。

【請求項3】 重量比で、C：0.09～0.20%、Si：0%より多く0.20%以下、Mn：0%より多く1.0%以下、Cr：9.5～12.0%、Mo：0.9～2.0%、V：0.15～0.30%、Ni：2.0～3.0%、Nb：0.03～0.20%、N：0.02～0.04%、B：0.005～0.012%、Re：0.1～1.2%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高韌性耐熱鋼。

【請求項4】 重量比で、C：0.05～0.30%、Si：0%より多く0.20%以下、Mn：0%より多く1.0%以下、Cr：8.0～14.0%、Mo：0.1～2.0%、W：0.3～5.0%、V：0.10～0.50%、Ni：1.5～5.0%、Nb：0.01～0.50%、N：0.01～0.08%、B：0.001～0.020%、Re：0.1～2.0%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高韌性耐熱鋼。

【請求項5】 重量比で、C：0.07～0.25%、Si：0%より多く0.20%以下、Mn：0%より多く1.0%以下、Cr：9.0～13.0%、Mo：0.2～1.5%、W：0.5～3.0%、V：0.10～0.40%、Ni：1.5～4.0%、Nb：0.01～0.30%、N：0.01～0.06%、B：0.003～0.015%、Re：0.1～1.2%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高韌性耐熱鋼。

【請求項6】 重量比で、C：0.09～0.20%、Si：0%より多く0.20%以下、Mn：0%より多く1.0%以下、Cr：9.5～12.0%、Mo：0.5～1.2%、W：1.0～2.5%、V：0.15～0.30%、Ni：2.0～3.0%、Nb：0.03～0.20%、N：0.02～0.04%、B：0.005～0.012%、Re：0.1～1.2%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高韌性耐熱鋼。

【請求項7】 重量比で、Coを0.5～6.0%含むことを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の高韌性耐熱鋼。

【請求項8】 請求項1ないし7のいずれかに記載の高

韌性耐熱鋼からなるタービンロータ素体を950～1120℃に加熱して焼入れし、その後、タービンロータ素体に550～740℃の焼戻しを1回以上施すことを特徴とするタービンロータの製造方法。

【請求項9】 焼入れ時の加熱温度は、タービンロータ素体の高圧部あるいは中圧部に相当する部分に対しては1030～1120℃であり、タービンロータ素体の低圧部に相当する部分に対しては950～1030℃であることを特徴とする請求項8記載のタービンロータの製造方法。

【請求項10】 少なくとも1回の焼戻しの加熱温度が、タービンロータ素体の高圧部あるいは中圧部に相当する部分に対しては630～740℃であり、タービンロータ素体の低圧部に相当する部分に対しては550～630℃であることを特徴とする請求項8または9記載のタービンロータの製造方法。

【請求項11】 タービンロータ素体は、請求項1ないし7のいずれかに記載の高韌性耐熱鋼からエレクトロスラグ再溶解法によって製造された鋼塊から形成することを特徴とする請求項8ないし10のいずれかに記載のタービンロータの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高低圧一体型タービンロータの素材として好適な、比較的低温における引張強度と韌性および高温におけるクリープ破断強度がそれぞれ優れた高韌性耐熱鋼に関し、また、この高韌性耐熱鋼を使用して大容量・高効率発電プラントに好適な高低圧一体型のタービンロータを製造する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に蒸気タービンロータにおいては、使用蒸気条件に応じて、複数の異なる材質のタービンロータを機械的に結合して蒸気タービンを構成している。例えば、高温・高圧側（例えば550～600℃）用のタービンロータ材としてはASTM-A470（Class 8）に規定されているようなCrMoV鋼や、特公昭60-54385号公報に示されているような12Cr鋼が使用され、低温・低圧側（例えば400℃以下）用のタービンロータ材としてはASTM-A471（Class 2～7）に規定されているような2.5%以上のNiを含むNiCrMoV鋼が使用されている。

【0003】一方、比較的小型の蒸気タービンにおいては、小型化および機構の簡略化という見地から、高圧側から低圧側までを同一材質で一体構成とした高低圧一体型のタービンロータが用いられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】高低圧一体型タービンロータ用材料としては、通常、上述のCrMoV鋼やNiCrMoV鋼が使用されているが、これらの材料で高低圧一体型タービンロータを構成した場合には以下のような問題がある。

【0005】CrMoV鋼は550℃程度の高温におけるクリープ破断強度は優れるが、低温域での引張強度および靱性の点で十分満足のいくものではない。従ってCrMoV鋼で高低圧一体型タービンロータを構成した場合には、延性破壊および脆性破壊を防止するために低圧部の作用応力を低くする必要があり、低圧段落、特に最終段に装着できる翼の大きさが制限されるので、発電プラントの大容量化が妨げられるという問題がある。

【0006】また、最近では発電プラントの効率向上のために、更にタービン入口蒸気を高温(600℃程度)・高圧化する要求があり、その場合はCrMoV鋼では高温クリープ破断強度が不足する。更にクリープ破断強度が優れた12Cr鋼を使用すれば、この問題は解決できるが、12Cr鋼も靱性の点で十分に満足のいく材料ではないため、CrMoV鋼と同様に低圧段落に装着できる翼の大きさが制限され、発電プラントの大容量化が妨げられるという問題がある。

【0007】一方、NiCrMoV鋼は低温域における引張強度および靱性は優れるがクリープ破断強度の点で満足のいくものではない。従って、NiCrMoV鋼で高低圧一体型タービンロータを構成した場合には、高圧部の強度不足のためにタービン入口蒸気の高温化を制限しなければならず、発電プラントの効率向上が妨げられるという問題がある。

【0008】このように、従来の高低圧一体型タービンロータでは、高温蒸気を使用し、かつ長尺の低圧最終段翼を装着することにより蒸気タービンの大容量化・高効率化を図ろうとする場合に大きな制限があった。

【0009】本発明は上述した問題点に鑑みてなされたもので、高低圧一体型のタービンロータの素材として好適な、比較的低温における引張強度と靱性および高温におけるクリープ破断強度がそれぞれ優れた高靱性耐熱鋼を提供すること、並びにこの高靱性耐熱鋼を使用して大容量・高効率発電プラントに好適なタービンロータを製造する方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の請求項は、重量比で、C:0.05~0.30%、Si:0%より多く0.20%以下、Mn:0%より多く1.0%以下、Cr:8.0~14.0%、Mo:0.5~3.0%、V:0.10~0.50%、Ni:1.5~5.0%、Nb:0.01~0.50%、N:0.01~0.08%、B:0.001~0.020%、Re:0.1~2.0%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高靱性耐熱鋼である。

【0011】本発明の第2の請求項は、重量比で、C:0.07~0.25%、Si:0%より多く0.20%以下、Mn:0%より多く1.0%以下、Cr:9.0~13.0%、Mo:0.7~2.5%、V:0.10~0.40%、Ni:1.5~4.0%、Nb:0.01~0.30%、N:0.01~0.06%、B:0.003~0.015%、Re:0.1~1.2%を含み、残部がFe

および不可避的不純物からなることを特徴とする高靱性耐熱鋼である。

【0012】本発明の第3の請求項は、重量比で、C:0.09~0.20%、Si:0%より多く0.20%以下、Mn:0%より多く1.0%以下、Cr:9.5~12.0%、Mo:0.9~2.0%、V:0.15~0.30%、Ni:2.0~3.0%、Nb:0.03~0.20%、N:0.02~0.04%、B:0.005~0.012%、Re:0.1~1.2%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高靱性耐熱鋼である。

【0013】本発明の第4の請求項は、重量比で、C:0.05~0.30%、Si:0%より多く0.20%以下、Mn:0%より多く1.0%以下、Cr:8.0~14.0%、Mo:0.1~2.0%、W:0.3~5.0%、V:0.10~0.50%、Ni:1.5~5.0%、Nb:0.01~0.50%、N:0.01~0.08%、B:0.001~0.020%、Re:0.1~2.0%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高靱性耐熱鋼である。

【0014】本発明の第5の請求項は、重量比で、C:0.07~0.25%、Si:0%より多く0.20%以下、Mn:0%より多く1.0%以下、Cr:9.0~13.0%、Mo:0.2~1.5%、W:0.5~3.0%、V:0.10~0.40%、Ni:1.5~4.0%、Nb:0.01~0.30%、N:0.01~0.06%、B:0.003~0.015%、Re:0.1~1.2%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高靱性耐熱鋼である。

【0015】本発明の第6の請求項は、重量比で、C:0.09~0.20%、Si:0%より多く0.20%以下、Mn:0%より多く1.0%以下、Cr:9.5~12.0%、Mo:0.5~1.2%、W:1.0~2.5%、V:0.15~0.30%、Ni:2.0~3.0%、Nb:0.03~0.20%、N:0.02~0.04%、B:0.005~0.012%、Re:0.1~1.2%を含み、残部がFeおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高靱性耐熱鋼である。

【0016】本発明の第7の請求項は、重量比でCを0.5~6.0%含むようにしたことを特徴とする上述の第1の請求項から第6の請求項のいずれかに記載の高靱性耐熱鋼である。

【0017】本発明の第8の請求項は、上述の第1の請求項から第7の請求項のいずれかに記載の高靱性耐熱鋼からなるタービンロータ素体を950~1120℃に加熱して焼入れし、その後、タービンロータ素体に550~740℃の焼戻しを1回以上施すことを特徴とするタービンロータの製造方法である。

【0018】本発明の第9の請求項は、焼入れ時の加熱温度が、タービンロータ素体の高圧部あるいは中圧部に相当する部分に対しては1030~1120℃、低圧部に相当する部分に対しては950~1030℃であることを特徴とする、上述の第8の請求項に記載のタービンロータの製造方法である。

【0019】本発明の第10の請求項は、少なくとも1回の焼戻しにつき、その加熱温度が、タービンロータ素体の高圧部あるいは中圧部に相当する部分に対しては630～740℃、低圧部に相当する部分に対しては550～630℃であることを特徴とする、上述の第8または9の請求項に記載のタービンロータの製造方法である。

【0020】本発明の第11の請求項は、第8の請求項から第10の請求項のいずれかに記載のタービンロータの製造方法において、タービンロータ素体を、請求項1ないし7のいずれかに記載の高韌性耐熱鋼からエレクトロslag再溶解法によって製造された鋼塊から形成するようにしたものである。

【0021】まず、本発明の高韌性耐熱鋼の組成範囲につき、限定理由を説明する。なお、以下の説明において組成を表す%は、特に断らない限り重量比とする。CはCr、Nb、Vなどと結合して炭化物を形成し、析出強化に寄与するとともに焼入れ性の向上や、 δ フェライト生成の抑制に必要な不可欠な元素である。所望のクリープ破断強度を確保するためには0.05%以上の添加が必要であるが、0.30%以上を添加すると炭化物の粗大化を促進し、長時間でのクリープ破断強度を低下させるため、その含有量を0.05～0.30%とする。好ましくは0.07～0.25%、更に好ましくは0.09～0.20%である。

【0022】Siは溶解時の脱酸材として添加するが、多量に添加するとその一部が酸化物として鋼中に残留し、韌性が低下するため0%でない0.20%以下とする。Mnは溶解時に脱酸・脱硫剤として添加される元素であるが、多量に添加するとクリープ破断強度が低下するため、0%でない1.0%以下とする。

【0023】Crは、耐酸化性と耐食性を向上させるとともに、固溶強化ならびに析出強化に寄与するM23C6型析出物の構成元素として必要不可欠な元素であるが、8.0%未満の添加量では上述の効果が小さい。一方、14.0%を超えると、韌性およびクリープ破断強度に有害な δ フェライトが生成しやすくなるため、その含有量を8.0～14.0%とする。好ましくは9.0～13.0%、更に好ましくは9.5～12.0%である。

【0024】Moは固溶強化元素および炭化物の構成元素として必要であるが、0.5%未満の添加ではその効果が小さい。一方、3.0%を超えると、韌性を大きく低下させるとともに、 δ フェライトが生成しやすくなるため、その含有量を0.5～3.0%とする。好ましくは0.7～2.5%、更に好ましくは0.9～2.0%である。

【0025】なお、後述するWもほぼ同様の作用を持っており、Wを添加する場合にはMoの添加量を低下させる必要がある。Wを添加する場合、Moの添加量が0.1%未満では固溶強化元素および炭化物元素としての効果が小さく、一方、2.0%を超えると韌性を大きく低下させるとともに、 δ フェライトが生成しやすくなる。そのため、Wとともに添加する場合のMoの添加量は0.1～

2.0%とする。好ましくは0.2～1.5%、更に好ましくは0.5～1.2%である。

【0026】Vは固溶強化および微細なV炭化物の形成に寄与する。0.10%以上の添加量でこれらの微細析出物は、クリープ中に主としてマルテンサイトラス境界上に析出し回復を抑制するが、0.50%を超えると δ フェライトが生成しやすくなる。また0.10%未満の添加量では固溶量、析出量ともに少なく上述の効果が得られないため、その含有量を0.10～0.50%とする。好ましくは0.10～0.40%、更に好ましくは0.15～0.30%である。

【0027】Niは焼入れ性および韌性を大きく向上させるとともに δ フェライトの析出を抑制する元素であるが、1.5%未満の添加ではその効果が小さい。一方、5.0%を超えるとクリープ抵抗を低下させるため、その含有量を1.5～5.0%とする。好ましくは1.5～4.0%、更に好ましくは2.0～3.0%である。

【0028】NbはCおよびNと結合してNb(C, N)の微細炭窒化物を形成することにより析出分散強化に寄与する元素であるが、0.01%未満では析出密度が低いいため上述の効果が得られない。一方、0.50%を超えると未固溶の粗大なNb(C, N)が生成しやすくなり、延性や韌性を低下させるため、その含有量を0.01～0.50%とする。好ましくは0.01～0.30%、更に好ましくは0.03から0.20%である。

【0029】Nは窒化物あるいは炭窒化物を形成することにより析出強化に寄与し、更に母相中に残存しているNは固溶強化にも寄与するが、0.01%未満ではこれらの効果が得られない。一方、0.08%を超えると、窒化物あるいは炭窒化物の粗大化を促進しクリープ抵抗が低下するとともに延性や韌性が低下するため、その含有量を0.01～0.08%とする。好ましくは0.01～0.06%、更に好ましくは0.02～0.04%である。

【0030】Bは微量の添加で結晶粒界への析出物の析出を促進するとともに、炭窒化物の高温長時間安定性を高める元素であるが、0.001%未満ではその効果が得られない。一方、0.020%を超えると韌性を大幅に低下させ、更に熱間加工性を損なうため、その含有量を0.001～0.020%とする。好ましくは0.003～0.015%、更に好ましくは0.005～0.012%である。

【0031】Reは固溶強化元素としてクリープ破断強度向上に寄与するとともに、高温使用時における各種合金元素の拡散を遅らせ、長時間安定性向上に寄与するが、0.1%未満の添加ではこれらの効果が得られない。一方、2.0%を超えると韌性を大幅に低下させるため、その添加量を0.1～2.0%とする。好ましくは0.1～1.2%である。

【0032】Wは固溶強化元素および炭化物元素として寄与し、更にFe、Cr、Wからなる金属間化合物の形成に寄与するため、より優れたクリープ破断強度が必要な場合に添加する。0.3%未満ではこれらの効果が得ら

れず、一方、5.0 %を超えるとδフェライトが生成しやすくなるとともに、靱性および加熱脆化特性を著しく低下させるため、その含有量を0.3 ~ 5.0 %とする。好ましくは0.5 ~ 3.0 %、更に好ましくは1.0 ~ 2.5 %である。

【0033】Cは固溶強化に寄与し、更にδフェライトの生成を抑制する元素であるため、必要に応じて添加する。0.5 %未満の添加ではこれらの効果が得られず、一方、6.0 %を超えると加工性を損なうため、その含有量を0.5 ~ 6.0 %とする。

【0034】上記成分ならびに主成分であるFeを添加する際に付随的に混入する不純物は極力低減することが望ましい。次に、本発明のタービンロータの製造方法につき、その熱処理条件の限定理由を説明する。

【0035】焼入れはタービンロータ素体に優れた強度を付与するために必要な熱処理であるが、その加熱温度が950 °C未満ではオーステナイト化が十分ではなく焼入れが不可能となる。一方、1120°Cを超えるとオーステナイト結晶粒が著しく粗大化し、延性を低下させるため、その加熱温度を950 ~ 1120°Cとする。なお、ロータ素体の高圧部あるいは中圧部に相当する部分においてはクリープ破断強度が重要となるため、1030 ~ 1120°Cの高い加熱温度範囲における焼入れにより各種析出物を十分に固溶させ、その後の焼戻しにより微細再析出させることが望ましい。また、ロータ素体の低圧部においては比較的低温における引張強度と靱性が重要となるため、950 ~ 1030°Cの低い加熱温度範囲における焼入れにより、結晶粒の細粒化を図ることが望ましい。

【0036】焼戻しはタービンロータ素体を所望の強度に調整するために、1回以上行うことが必要な熱処理であるが、その加熱温度が550 °C未満では十分な焼戻し効果が得られず、優れた靱性を得ることができない。一方、740 °Cを超えると所望の強度が得られないため、その加熱温度を550 ~ 740 °Cとする。なお、ロータ素体の高圧部あるいは中圧部に相当する部分においてはクリープ破断強度が重要となるため、630 ~ 740 °Cの高い温度範囲における焼戻しを少なくとも1回行い、焼入れにより固溶させた析出物を十分に再析出させることが望ましい。また、ロータ素体の低圧部においては比較的低温における引張強度と靱性が重要となるため、550 ~ 630 °Cの低い加熱温度範囲における焼戻しを少なくとも1回行い、所望の引張強度と優れた靱性を両立させることが望ましい。次に、本発明のタービンロータの製造方法につき、そのタービンロータ素体を構成する鋼塊をエレクトロスラグ再溶解法を用いて製造する理由を説明する。

【0037】蒸気タービン用ロータに代表される大型素材においては、鋼塊凝固時に添加元素の偏析や凝固組織の不均一を生じやすい。特に、材料特性の向上を狙って種々の元素を添加していくと、鋼塊中心部の偏析傾向が高まり、ロータ素体中心部の延性や靱性が低下する傾向

がある。本発明のタービンロータの製造方法に係るタービンロータ素体を構成する鋼塊は真空カーボン脱酸などに代表される通常の方法でも製造可能であるが、均質・清浄な鋼塊を得るためにエレクトロスラグ再溶解を用いることが好ましい。

【0038】なお、本発明に係る鋼およびタービンロータの引張強度、靱性、延性、クリープ破断強度などの特性は以下に説明する引張試験、シャルピー衝撃試験、クリープ破断試験などによって評価することができる。

【0039】引張試験は供試材の引張強さ、耐力、伸び、絞りなどを求めることを目的とする材料試験である。引張強さおよび耐力は供試材の引張強度を、伸びおよび絞りは供試材の延性をあらわし、それぞれの値が大きい方が特性として優れていることを示す。

【0040】シャルピー衝撃試験は供試材の衝撃値、FATT（衝撃試験片の破面率から求めた延性-脆性遷移温度）などを求めることを目的とする材料試験である。一般に「衝撃値」といった場合は、室温（20°C）における特性をいう。衝撃値は、衝撃的な力が加わったときの壊れにくさ、すなわち靱性を表すが、引張特性と同様に、値が大きい方が性質が優れていることを示す。また、本発明に係る鋼およびタービンロータの供試材は温度によって衝撃値が変化し、同一の供試材でも、温度の高い領域では衝撃値は大きく、破面は延性破面を呈するが、逆に温度の低い領域では衝撃値は小さく、破面は脆性破面を呈する。これらの中間の温度域では、延性破面と脆性破面が混在している。この両方の破面の面積率を計算し、ちょうど50% - 50%になるような温度を求め、この温度をFATTとしている。従って、FATTの値は小さい方が靱性が高い。

【0041】クリープ破断試験は供試材のクリープ破断強度などを求めることを目的とする材料試験である。クリープ破断強度はクリープ破断時間と対応する特性であり、クリープ破断時間が長ければ、それに伴ってクリープ破断強度も高くなる。また、複数の試験片のクリープ破断試験結果（試験温度、試験応力、破断時間）をラソン・ミラー・パラメータで整理することにより、種々の温度におけるクリープ破断強度（105 時間破断強度、等）を求めることができる。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施例により説明する。

（実施例1）実施例1では、特に化学組成の影響について説明する。

【0043】供試材として用いた70種類の試料の化学組成を図1および図2に示す。このうち、図1に示した実施例M1からM45は本発明に係る高靱性耐熱鋼の化学組成範囲の鋼である。そして、図2に示した比較例のうちS1はASTM-A470に規定されるCrMoV鋼、S2はASTM-A470に規定されるNiCrMoV鋼、S3は特公昭

60-54385号公報に開示されている12Cr鋼であり、S1およびS3は高温用タービンロータに、S2は低温用タービンロータに使用されている鋼である。また、図2に示した比較例のうちS4からS25は化学組成が本発明の範囲に入らない鋼である。

【0044】これらの供試材を50kgの真空高周波誘導電気炉にて溶解し鑄造した後、1200℃に加熱してプレス鍛造を行い、直径60mmの丸棒に鍛伸した。その後、それぞれの丸棒に対し、調質熱処理を施した。なお、調質熱処理の条件は実施例M1からM45および比較例S4からS25については図3に示すHM1（1030℃焼入れ、630℃焼戻し）とし、比較例S1からS3については、それぞれ一般的に行われている熱処理条件である図3に示すHS1からHS3とした。

【0045】こうして得られた丸棒供試材より試験片を切り出し、室温における引張試験、シャルピー衝撃試験およびクリープ破断試験に供し、引張強さ、0.02%耐力、伸び、絞り、FATT、590℃における105時間破断強度を求めた。その結果を実施例については図4に、比較例については図5に示す。

【0046】まず、比較例のうち、現用タービンロータに使用されているS1からS3を比較する。105時間破断強度はS3が最も高く、次いでS1、S2の順番である。FATTはS2が最も低く、次いでS3、S1の順番である。また、引張強さおよび0.02%耐力はS3が最も高く、次いでS2、S1の順番である。従って、これらの結果から「S1はクリープ破断強度は優れるものの、引張強度および靱性が劣る材料」、「S2は靱性は非常に優れ、引張強度も優れるものの、クリープ破断強度が劣る材料」、「S3は引張強度およびクリープ破断強度は非常に優れるものの、靱性は決して優れてはいない材料」ということができる。

【0047】次に本発明に係る供試材である実施例M1からM45と、比較例S1からS3を比較する。引張強さおよび0.02%耐力において、実施例M1からM45はいずれも比較例S3を上回る値を示しており、非常に優れた引張強度を有することがわかる。一方、FATTにおいては、実施例M1からM45はいずれも比較例S2と同等もしくは下回る値を示しており、非常に優れた靱性を有することがわかる。また、クリープ破断強度においては、実施例M1からM45はいずれも比較例S1を上回る値を示し、更に比較例S3と同等の値を示すものもあることから、非常に優れたクリープ破断強度を有することがわかる。なお、伸びおよび絞りにおいては、実施例M1からM45は比較例S1からS3とほぼ同等の値を示しており、十分な延性を有していることがわかる。

【0048】すなわち、本発明に係る高靱性耐熱鋼は、従来より蒸気タービンロータとして使用されている鋼を上回る引張強度および靱性を有し、また、CrMoV鋼を上回り12Cr鋼に迫る優れたクリープ破断強度を有す

る。

【0049】なお、化学組成が本発明の範囲に入らない鋼である比較例S4からS25においては、引張強度、靱性、クリープ破断強度ともに優れた供試材は見られない。すなわちS4、S5、S6、S7、S8、S10、S13、S14、S16、S17、S18、S20、S22、S24はクリープ破断強度が低く、S9、S11、S12、S15、S17、S19、S21、S23、S25は靱性が低く、S4、S16は引張強度が低い。この結果から、鋼の組成を本発明の化学組成の範囲に調整することにより、優れた引張強度、靱性、クリープ破断強度を兼ね備えた高靱性耐熱鋼が得られることが明らかである。

【0050】（実施例2）実施例2では特に熱処理の影響について説明する。素材として、本発明に係る高靱性耐熱鋼である図1の実施例のうち、M1、M32、M42を用い、それぞれに対して図2に示す熱処理のうち、HM1からHM10（実施例）およびHS4からHS7（比較例）の熱処理を施して、供試材とした。ここで、HM1からHM10は本発明に係るタービンロータの製造方法にはいる熱処理条件であり、HS4からHS7は本発明に係るタービンロータの製造方法の熱処理条件に入らないものである。

【0051】こうして得られた供試材より試験片を切り出し、室温における引張試験、シャルピー衝撃試験およびクリープ破断試験をおこない、引張強さ、0.02%耐力、伸び、絞り、FATT、590℃における105時間破断強度を求めた。その結果を図6に示す。

【0052】なお、熱処理条件HM1（1030℃焼入れ、630℃焼戻し）により、本発明に係る高靱性耐熱鋼において優れた引張強度、靱性、クリープ破断強度が得られることは実施例1で述べたので、以下、HM2からHM10について述べる。

【0053】HM2はHM1（1030℃焼入れ、630℃焼戻し）に対して、475℃における2回目の焼戻しを加えたものである。熱処理HM1を施した場合と比較して、熱処理HM2により、素材M1、M32、M42のいずれにおいても0.02%耐力が大きく上昇し、FATTおよびクリープ破断強度はほとんど変化しないことがわかる。すなわち、2回目焼戻しは引張強度を上昇させる効果を持っており、ロータ素材を製造する際には2回の焼戻しを行うことがより好ましい。

【0054】HM3はHM1（1030℃焼入れ、630℃焼戻し）に対して、焼入れ温度を1000℃に低下させたものである。熱処理HM1を施した場合と比較して、熱処理HM3により、素材M1、M32、M42のいずれにおいてもクリープ破断強度は低下するものの、引張強さおよび0.02%耐力はほとんど変化せず、FATTが大きく低下することがわかる。すなわち、焼入れを950～1030℃の低い加熱温度範囲で施すことにより、高低圧一体型蒸気タービンロータ素体の低圧部の特性として好適な、優れた靱

性を実現することができる。

【0055】HM4はHM1（1030℃焼入れ、630℃焼戻し）に対して、焼入れ温度を1070℃に上昇させたものである。熱処理HM1を施した場合と比較して、熱処理HM3により、素材M1、M32、M42のいずれにおいてもFATTは上昇するものの、引張強さおよび0.02%耐力はほとんど変化せず、クリープ破断強度が上昇することがわかる。すなわち、焼入れを1030～1120℃の高い加熱温度範囲で施すことにより、高低圧一体型蒸気タービンロータ素体の高圧部あるいは中圧部の特性として好適な、優れたクリープ破断強度を実現することができる。

【0056】HM5はHM1（1030℃焼入れ、630℃焼戻し）に対して、焼戻し温度を600℃に低下させたものである。熱処理HM1を施した場合と比較して、熱処理HM5により、素材M1、M32、M42のいずれにおいてもクリープ破断強度はわずかに低下、FATTはわずかに上昇するものの、引張強さおよび0.02%耐力が大きく上昇することがわかる。すなわち、焼戻しを550～630℃の低い加熱温度範囲で施すことにより、高低圧一体型蒸気タービンロータ素体の低圧部の特性として好適な、優れた引張強度を実現することができる。

【0057】HM6はHM1（1030℃焼入れ、630℃焼戻し）に対して、焼戻し温度を660℃に上昇させたものである。熱処理HM1を施した場合と比較して、熱処理HM6により、素材M1、M32、M42のいずれにおいても引張強さおよび0.02%耐力は低下するものの、FATTはわずかに低下し、クリープ破断強度が上昇することがわかる。すなわち、焼戻しを630～740℃の高い加熱温度範囲で施すことにより、高低圧一体型蒸気タービンロータ素体の高圧部あるいは中圧部の特性として好適な、優れたクリープ破断強度を実現することができる。

【0058】HM7はHM1（1030℃焼入れ、630℃焼戻し）に対して、焼入れ温度を1000℃に低下させ、更に焼戻し温度を600℃に低下させたものである。熱処理HM1を施した場合と比較して、熱処理HM7により、素材M1、M32、M42のいずれにおいてもクリープ破断強度は低下するものの、FATTが大きく低下し、引張強さおよび0.02%耐力が大きく上昇することがわかる。すなわち、焼入れを950～1030℃の低い温度範囲で施し、更に焼戻しを550～630℃の低い加熱温度範囲で施すことにより、高低圧一体型蒸気タービンロータ素体の低圧部の特性として好適な、優れた引張強度と靱性を実現することができる。

【0059】HM8はHM1（1030℃焼入れ、630℃焼戻し）に対して、焼入れ温度を1070℃に上昇させ、更に焼戻し温度を660℃に上昇させたものである。熱処理HM1を施した場合と比較して、熱処理HM8により、素材M1、M32、M42のいずれにおいても引張強さおよび0.02%耐力は低下し、FATTは上昇するものの、クリープ破断強度が大きく上昇することがわかる。すなわち、焼

入れを1030℃～1120℃の高い温度範囲で施し、更に焼戻しを630～740℃の高い加熱温度範囲で施すことにより、高低圧一体型蒸気タービンロータ素体の低圧部の特性として好適な、非常に優れたクリープ破断強度を実現することができる。

【0060】HM9はHM7（1000℃焼入れ、600℃焼戻し）に対して、475℃における2回目の焼戻しを加えたものである。熱処理HM7を施した場合と比較して、熱処理HM9により、素材M1、M32、M42のいずれにおいても0.02%耐力が大きく上昇し、FATTおよびクリープ破断強度はほとんど変化しないことがわかる。すなわち、焼入れを950～1030℃の低い温度範囲で施し、焼戻しを550～630℃の低い加熱温度範囲で施し、更に2回目の焼戻しを施すことにより、高低圧一体型蒸気タービンロータ素体の低圧部の特性として好適な、非常に優れた引張強度と靱性を実現することができる。

【0061】HM10はHM8（1070℃焼入れ、660℃焼戻し）に対して、475℃における2回目の焼戻しを加えたものである。熱処理HM8を施した場合と比較して、熱処理HM10により、素材M1、M32、M42のいずれにおいても0.02%耐力が上昇し、FATTおよびクリープ破断強度はほとんど変化しないことがわかる。すなわち、焼入れを1030～1120℃の高い温度範囲で施し、焼戻しを630～740℃の高い加熱温度範囲で施した場合、2回目の焼戻しを施しても、高低圧一体型蒸気タービンロータ素体の高圧部の特性として好適な、非常に優れたクリープ破断強度は維持される。

【0062】なお、本発明に係るタービンロータの製造方法の範囲に入らない熱処理条件である比較例HS4からHS7を施した場合、素材M1、M32、M42のいずれにおいても引張強度、靱性、クリープ破断強度ともに優れたものは見られない。すなわちHS4を施した場合は引張強度、靱性、クリープ破断強度ともに低く、HS5あるいはHS6を施した場合は靱性ととも延性も低く、HS7を施した場合は引張強度とクリープ破断強度が低い。

【0063】これらの結果から、熱処理条件を本発明に係るタービンロータの製造方法の範囲に調整することにより、高低圧一体型タービンロータ用として好適な、低圧部においては非常に優れた引張強度および靱性を有し、高圧部においては非常に優れたクリープ破断強度を有するロータ素体が得られることが明らかである。

【0064】（実施例3）実施例3では特にタービンロータ素体を形成する鋼塊をエレクトロスラグ再溶解法を用いて製造する効果について説明する。

【0065】供試材として用いた4種類の試料の化学組成を図7に示す。これらはすべて本発明に係る高靱性耐熱鋼の組成範囲の鋼であり、実施例E1は比較例V1とほぼ同一の化学組成を有し、実施例E2は比較例V2とほぼ同一の化学組成を有する。これらのうち、実施例E

1およびE2については、電気炉溶解後、エレクトロスラグ再溶解の電極用モールドに鑄込み、次いでその鑄塊を消耗電極としてエレクトロスラグ再溶解を実施して鋼塊を製造し、1200℃に加熱してプレス鍛造を行い、1000mmφ×800mmのロータ部分モデルを得た。一方比較例V1およびV2については、電気炉溶解後、真空カーボン脱酸を実施して鋼塊を製造し、1200℃に加熱してプレス鍛造を行い、1000mmφ×800mmのロータ部分モデルを得た。これら4種類のロータ部分モデルに対し、1030℃における焼入れおよび加熱温度630℃における焼戻しを施した。

【0066】こうして得られた供試材の表層部並びに中心部より試験片を切り出し、室温における引張試験、シャルピー衝撃試験およびクリープ破断試験に供し、引張強さ、0.02%耐力、伸び、絞り、FATT、590℃における105時間破断強度を求めた。その結果を図8に示す。

【0067】実施例E1およびE2では、表層部と中心部の引張強さ、0.02%耐力、伸び、絞り、FATT、クリープ破断強度はほぼ同等である。一方、比較例V1およびV2では、表層部と中心部の引張強さ、0.02%耐力、クリープ破断強度はほぼ同等であるが、伸び、絞りは中心部において低下し、FATTは中心部において上昇する傾向が見られる。また、この傾向は合金元素をより多く添加したV2において著しい。すなわち、特に合金元素を多く添加した場合、本発明に係る高韌性耐熱鋼を用いたタービンロータ素体を形成する鋼塊をエレクトロスラグ再溶解法を用いて製造することにより、表層部と中心部の引張強度、延性、韌性、クリープ破断強度に差がない均

質なロータ素体が得られることが明らかである。

【0068】

【発明の効果】上記説明にて明らかなように、本発明によれば、高温の蒸気条件下において高いクリープ破断強度を有し、かつ比較的低温の蒸気条件下においても引張強度および韌性が高い高韌性耐熱鋼およびこの高韌性耐熱鋼を用いた高低圧一体型タービンロータを提供することができる。この高低圧一体型タービンロータは高温蒸気環境での使用が可能であり、かつ長尺の低圧最終段翼を装着できるため、従来にない大容量・高効率発電プラントの高低圧一体型タービンによる構成が可能となり、産業上有益な効果がもたらされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の高韌性耐熱鋼の実施例の組成を示す表。

【図2】本発明の高韌性耐熱鋼に対する比較例の組成を示す表。

【図3】供試材に対する調質熱処理条件を示す表。

【図4】実施例供試材に対する引張試験等の結果を示す表。

【図5】比較例供試材に対する引張試験等の結果を示す表。

【図6】熱処理条件についての試験の結果を示す表。

【図7】エレクトロスラグ再溶解法を試験するための供試材の組成を示す表。

【図8】エレクトロスラグ再溶解法および他の方法によって製作した供試材の引張試験等の結果を示す表。

【図2】

| No. | C | Si | Mn | Cr | Mo | V | Ni | Nb | N | B | Fe | W |
|-----|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|--------|------|-------|
| S1 | 0.29 | 0.07 | 0.77 | 1.10 | 1.15 | 0.22 | 0.34 | - | - | - | - | - |
| S2 | 0.24 | 0.08 | 0.23 | 1.84 | 0.39 | 0.12 | 3.56 | - | - | - | - | - |
| S3 | 0.14 | 0.03 | 0.59 | 10.03 | 0.99 | 0.18 | 0.68 | 0.05 | 0.048 | - | - | 1.02 |
| S4 | 0.09 | 0.09 | 0.18 | 10.48 | 1.38 | 0.20 | 2.75 | 0.08 | 0.024 | 0.007 | 0.88 | - |
| S5 | 0.83 | 0.09 | 0.18 | 11.57 | 1.69 | 0.21 | 2.54 | 0.07 | 0.028 | 0.008 | 0.90 | - |
| S6 | 0.12 | 0.15 | 0.15 | 7.54 | 1.68 | 0.19 | 2.80 | 0.08 | 0.024 | 0.009 | 0.46 | - |
| S7 | 0.14 | 0.09 | 0.22 | 13.50 | 1.72 | 0.25 | 2.95 | 0.07 | 0.022 | 0.008 | 0.42 | - |
| S8 | 0.14 | 0.16 | 0.23 | 10.44 | 0.35 | 0.23 | 2.67 | 0.08 | 0.025 | 0.009 | 0.57 | - |
| S9 | 0.13 | 0.11 | 0.03 | 10.98 | 3.29 | 0.17 | 2.59 | 0.08 | 0.028 | 0.005 | 0.39 | - |
| S10 | 0.15 | 0.13 | 0.08 | 11.72 | 1.68 | 0.07 | 2.43 | 0.10 | 0.021 | 0.008 | 0.54 | - |
| S11 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 11.27 | 1.45 | 0.81 | 2.89 | 0.08 | 0.025 | 0.007 | 0.81 | - |
| S12 | 0.13 | 0.11 | 0.12 | 11.45 | 1.61 | 0.19 | 1.23 | 0.01 | 0.028 | 0.006 | 0.89 | - |
| S13 | 0.14 | 0.11 | 0.26 | 10.21 | 1.59 | 0.20 | 5.70 | 0.07 | 0.030 | 0.010 | 0.49 | - |
| S14 | 0.14 | 0.16 | 0.12 | 11.12 | 1.72 | 0.19 | 2.48 | 0.098 | 0.023 | 0.007 | 0.76 | - |
| S15 | 0.17 | 0.09 | 0.09 | 10.84 | 1.58 | 0.23 | 2.74 | 0.89 | 0.027 | 0.006 | 0.80 | - |
| S16 | 0.14 | 0.08 | 0.18 | 11.69 | 1.62 | 0.21 | 2.40 | 0.10 | 0.008 | 0.009 | 0.85 | - |
| S17 | 0.13 | 0.09 | 0.18 | 11.73 | 1.75 | 0.20 | 2.71 | 0.07 | 0.109 | 0.007 | 0.49 | - |
| S18 | 0.13 | 0.12 | 0.15 | 10.69 | 1.55 | 0.21 | 2.34 | 0.08 | 0.027 | 0.0007 | 0.57 | - |
| S19 | 0.11 | 0.15 | 0.17 | 11.54 | 1.48 | 0.19 | 2.71 | 0.08 | 0.021 | 0.025 | 0.29 | - |
| S20 | 0.12 | 0.09 | 0.12 | 11.76 | 1.68 | 0.25 | 2.43 | 0.07 | 0.024 | 0.006 | 0.07 | - |
| S21 | 0.15 | 0.07 | 0.18 | 10.95 | 1.49 | 0.22 | 2.48 | 0.08 | 0.026 | 0.006 | 2.35 | - |
| S22 | 0.13 | 0.09 | 0.16 | 11.45 | 1.05 | 0.19 | 2.56 | 0.08 | 0.028 | 0.008 | 0.70 | 0.018 |
| S23 | 0.13 | 0.08 | 0.15 | 10.89 | 0.69 | 0.26 | 2.43 | 0.08 | 0.030 | 0.007 | 0.85 | 6.58 |
| S24 | 0.14 | 0.11 | 0.22 | 10.69 | 0.97 | 0.22 | 2.48 | 0.08 | 0.025 | 0.007 | 0.87 | 1.27 |
| S25 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 11.45 | 1.76 | 0.21 | 2.69 | 0.08 | 0.021 | 0.006 | 0.46 | 2.1 |

【図3】

| No. | 焼入れ | 焼戻し | |
|-----|------|-------------|-------------|
| | | 1回目 | 2回目 |
| 実 | HM1 | 1030℃×5h→油冷 | 630℃×20h→空冷 |
| | HM2 | 1030℃×5h→油冷 | 630℃×20h→空冷 |
| | HM3 | 1000℃×5h→油冷 | 630℃×20h→空冷 |
| | HM4 | 1070℃×5h→油冷 | 630℃×20h→空冷 |
| | HM5 | 1030℃×5h→油冷 | 600℃×20h→空冷 |
| 比 | HM6 | 1030℃×5h→油冷 | 660℃×20h→空冷 |
| | HM7 | 1000℃×5h→油冷 | 800℃×20h→空冷 |
| | HM8 | 1070℃×5h→油冷 | 660℃×20h→空冷 |
| | HM9 | 1000℃×5h→油冷 | 800℃×20h→空冷 |
| | HM10 | 1070℃×5h→油冷 | 660℃×20h→空冷 |
| 例 | HS1 | 970℃×5h→空冷 | 680℃×20h→空冷 |
| | HS2 | 830℃×5h→空冷 | 610℃×20h→空冷 |
| | HS3 | 1050℃×5h→油冷 | 570℃×5h→空冷 |
| | HS4 | 930℃×5h→油冷 | 630℃×20h→空冷 |
| | HS5 | 1140℃×5h→油冷 | 630℃×20h→空冷 |
| 例 | HS6 | 1030℃×5h→油冷 | 530℃×20h→空冷 |
| | HS7 | 1030℃×5h→油冷 | 760℃×20h→空冷 |

【図1】

| No. | C | Si | Mn | Cr | Mo | V | Ni | Nb | N | B | Re | W | Co |
|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| M1 | 0.12 | 0.07 | 0.07 | 11.86 | 1.60 | 0.20 | 2.59 | 0.08 | 0.021 | 0.005 | 0.52 | - | - |
| M2 | 0.15 | 0.09 | 0.15 | 10.89 | 1.42 | 0.21 | 2.64 | 0.09 | 0.024 | 0.008 | 0.78 | - | - |
| M3 | 0.08 | 0.15 | 0.11 | 10.26 | 1.78 | 0.19 | 2.79 | 0.07 | 0.026 | 0.007 | 0.47 | - | - |
| M4 | 0.21 | 0.06 | 0.10 | 11.92 | 1.80 | 0.24 | 2.35 | 0.08 | 0.024 | 0.005 | 0.46 | - | - |
| M5 | 0.08 | 0.12 | 0.18 | 10.88 | 1.57 | 0.18 | 2.52 | 0.05 | 0.022 | 0.008 | 1.03 | - | - |
| M6 | 0.27 | 0.14 | 0.13 | 11.11 | 1.66 | 0.21 | 2.79 | 0.08 | 0.029 | 0.007 | 0.68 | - | - |
| M7 | 0.13 | 0.08 | 0.19 | 9.89 | 1.78 | 0.22 | 2.31 | 0.08 | 0.021 | 0.006 | 0.79 | - | - |
| M8 | 0.15 | 0.10 | 0.11 | 12.42 | 1.68 | 0.24 | 2.50 | 0.07 | 0.023 | 0.006 | 0.82 | - | - |
| M9 | 0.12 | 0.11 | 0.09 | 8.80 | 1.66 | 0.19 | 2.48 | 0.07 | 0.029 | 0.009 | 0.53 | - | - |
| M10 | 0.13 | 0.09 | 0.16 | 13.23 | 1.31 | 0.20 | 2.65 | 0.11 | 0.030 | 0.008 | 0.81 | - | - |
| M11 | 0.14 | 0.12 | 0.13 | 11.87 | 0.79 | 0.25 | 2.59 | 0.06 | 0.024 | 0.009 | 0.46 | - | - |
| M12 | 0.13 | 0.09 | 0.29 | 10.56 | 2.31 | 0.21 | 2.39 | 0.07 | 0.022 | 0.005 | 0.90 | - | - |
| M13 | 0.12 | 0.11 | 0.15 | 11.01 | 0.80 | 0.19 | 2.63 | 0.09 | 0.031 | 0.006 | 0.27 | - | - |
| M14 | 0.18 | 0.08 | 0.14 | 11.51 | 2.73 | 0.18 | 2.59 | 0.08 | 0.027 | 0.009 | 0.86 | - | - |
| M15 | 0.12 | 0.15 | 0.18 | 11.72 | 1.62 | 0.13 | 2.46 | 0.09 | 0.024 | 0.007 | 0.50 | - | - |
| M16 | 0.14 | 0.08 | 0.12 | 11.85 | 1.71 | 0.34 | 2.70 | 0.10 | 0.022 | 0.008 | 0.36 | - | - |
| M17 | 0.13 | 0.07 | 0.12 | 11.75 | 1.67 | 0.45 | 2.49 | 0.07 | 0.025 | 0.008 | 0.82 | - | - |
| M18 | 0.14 | 0.11 | 0.26 | 10.02 | 1.48 | 0.18 | 1.77 | 0.05 | 0.021 | 0.006 | 1.10 | - | - |
| M19 | 0.16 | 0.18 | 0.10 | 11.83 | 1.79 | 0.22 | 3.51 | 0.08 | 0.023 | 0.007 | 0.41 | - | - |
| M20 | 0.14 | 0.08 | 0.13 | 11.69 | 1.63 | 0.20 | 4.42 | 0.06 | 0.029 | 0.011 | 0.67 | - | - |
| M21 | 0.12 | 0.11 | 0.27 | 10.36 | 1.64 | 0.21 | 2.79 | 0.02 | 0.024 | 0.006 | 0.54 | - | - |
| M22 | 0.14 | 0.15 | 0.12 | 10.69 | 1.72 | 0.22 | 2.52 | 0.22 | 0.026 | 0.007 | 0.39 | - | - |
| M23 | 0.14 | 0.11 | 0.09 | 11.58 | 1.58 | 0.27 | 2.61 | 0.36 | 0.029 | 0.008 | 0.83 | - | - |
| M24 | 0.16 | 0.18 | 0.11 | 11.77 | 1.79 | 0.26 | 2.49 | 0.10 | 0.016 | 0.008 | 0.56 | - | - |
| M25 | 0.12 | 0.08 | 0.17 | 11.84 | 1.88 | 0.24 | 2.41 | 0.08 | 0.044 | 0.005 | 0.51 | - | - |
| M26 | 0.11 | 0.10 | 0.21 | 11.57 | 1.74 | 0.21 | 2.71 | 0.08 | 0.089 | 0.007 | 0.45 | - | - |
| M27 | 0.14 | 0.08 | 0.16 | 10.80 | 1.50 | 0.23 | 2.56 | 0.07 | 0.029 | 0.004 | 0.79 | - | - |
| M28 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 11.51 | 1.70 | 0.23 | 2.68 | 0.08 | 0.027 | 0.014 | 0.29 | - | - |
| M29 | 0.15 | 0.11 | 0.21 | 11.78 | 1.79 | 0.21 | 2.23 | 0.07 | 0.025 | 0.002 | 1.00 | - | - |
| M30 | 0.14 | 0.18 | 0.09 | 11.24 | 1.48 | 0.19 | 2.86 | 0.05 | 0.022 | 0.019 | 0.56 | - | - |
| M31 | 0.13 | 0.08 | 0.18 | 11.82 | 1.59 | 0.19 | 2.74 | 0.05 | 0.023 | 0.008 | 1.53 | - | - |
| M32 | 0.12 | 0.05 | 0.16 | 11.54 | 0.87 | 0.21 | 2.63 | 0.05 | 0.021 | 0.007 | 0.81 | 1.79 | - |
| M33 | 0.14 | 0.18 | 0.10 | 10.92 | 1.08 | 0.20 | 2.43 | 0.08 | 0.025 | 0.005 | 0.85 | 1.09 | - |
| M34 | 0.11 | 0.12 | 0.23 | 11.17 | 1.11 | 0.25 | 2.63 | 0.05 | 0.028 | 0.008 | 0.63 | 0.71 | - |
| M35 | 0.13 | 0.11 | 0.19 | 11.73 | 0.55 | 0.19 | 2.32 | 0.07 | 0.022 | 0.008 | 0.74 | 2.85 | - |
| M36 | 0.15 | 0.09 | 0.09 | 11.73 | 1.10 | 0.19 | 2.56 | 0.10 | 0.030 | 0.007 | 0.39 | 0.43 | - |
| M37 | 0.13 | 0.14 | 0.12 | 11.38 | 0.70 | 0.22 | 2.44 | 0.08 | 0.025 | 0.008 | 0.49 | 3.99 | - |
| M38 | 0.12 | 0.08 | 0.21 | 10.21 | 0.29 | 0.25 | 2.33 | 0.07 | 0.021 | 0.007 | 0.48 | 2.04 | - |
| M39 | 0.14 | 0.12 | 0.18 | 10.83 | 1.41 | 0.22 | 2.97 | 0.08 | 0.024 | 0.009 | 0.88 | 1.35 | - |
| M40 | 0.18 | 0.12 | 0.16 | 11.78 | 0.10 | 0.21 | 2.73 | 0.05 | 0.021 | 0.007 | 0.75 | 2.36 | - |
| M41 | 0.13 | 0.08 | 0.15 | 11.43 | 1.79 | 0.22 | 2.71 | 0.06 | 0.027 | 0.005 | 0.52 | 1.24 | - |
| M42 | 0.15 | 0.18 | 0.10 | 11.63 | 0.72 | 0.20 | 2.52 | 0.05 | 0.024 | 0.008 | 0.53 | 1.88 | 2.78 |
| M43 | 0.12 | 0.08 | 0.13 | 11.37 | 0.59 | 0.24 | 2.79 | 0.06 | 0.027 | 0.008 | 0.68 | 1.74 | 2.63 |
| M44 | 0.14 | 0.11 | 0.09 | 10.58 | 0.99 | 0.23 | 2.37 | 0.07 | 0.031 | 0.007 | 0.89 | 1.36 | 0.92 |
| M45 | 0.14 | 0.07 | 0.13 | 11.25 | 0.81 | 0.23 | 2.49 | 0.07 | 0.022 | 0.009 | 0.53 | 1.64 | 4.25 |

【図4】

| 供試材No. | 熱処理No. | 引張強さ (MPa) | 0.02%耐力 (MPa) | 伸び (%) | 収縮 (%) | FATT (°C) | クリープ破断強度 500°C、10 ⁵ 時間破断強度 (MPa) |
|--------|--------|---------------|------------------|-----------|-----------|--------------|---|
| M1 | HM1 | 1032 | 763 | 22 | 65 | -31 | 126 |
| M2 | HM1 | 1040 | 768 | 21 | 64 | -36 | 133 |
| M3 | HM1 | 1018 | 732 | 22 | 64 | -31 | 117 |
| M4 | HM1 | 1044 | 766 | 22 | 65 | -33 | 103 |
| M5 | HM1 | 1002 | 726 | 23 | 61 | -34 | 110 |
| M6 | HM1 | 990 | 718 | 24 | 65 | -30 | 98 |
| M7 | HM1 | 1018 | 755 | 21 | 62 | -34 | 126 |
| M8 | HM1 | 1036 | 781 | 20 | 61 | -39 | 127 |
| M9 | HM1 | 1028 | 753 | 22 | 65 | -32 | 120 |
| M10 | HM1 | 1037 | 762 | 22 | 62 | -38 | 114 |
| M11 | HM1 | 1027 | 749 | 21 | 61 | -33 | 124 |
| M12 | HM1 | 1036 | 763 | 20 | 62 | -27 | 121 |
| M13 | HM1 | 1029 | 749 | 22 | 63 | -36 | 110 |
| M14 | HM1 | 1037 | 764 | 21 | 59 | -33 | 133 |
| M15 | HM1 | 1019 | 735 | 22 | 64 | -38 | 121 |
| M16 | HM1 | 1025 | 754 | 20 | 60 | -28 | 130 |
| M17 | HM1 | 1030 | 749 | 21 | 63 | -26 | 124 |
| M18 | HM1 | 1002 | 732 | 22 | 65 | -33 | 131 |
| M19 | HM1 | 1033 | 753 | 21 | 65 | -36 | 122 |
| M20 | HM1 | 1031 | 758 | 21 | 59 | -36 | 114 |
| M21 | HM1 | 1027 | 761 | 21 | 61 | -34 | 105 |
| M22 | HM1 | 1036 | 765 | 21 | 63 | -31 | 134 |
| M23 | HM1 | 1026 | 753 | 19 | 56 | -24 | 127 |
| M24 | HM1 | 998 | 727 | 24 | 68 | -32 | 116 |
| M25 | HM1 | 1039 | 762 | 20 | 61 | -29 | 124 |
| M26 | HM1 | 1044 | 766 | 19 | 59 | -21 | 131 |
| M27 | HM1 | 1037 | 758 | 20 | 63 | -36 | 123 |
| M28 | HM1 | 1036 | 761 | 20 | 58 | -28 | 129 |
| M29 | HM1 | 1041 | 766 | 21 | 60 | -35 | 111 |
| M30 | HM1 | 1036 | 754 | 18 | 58 | -23 | 130 |
| M31 | HM1 | 1042 | 762 | 19 | 56 | -21 | 133 |
| M32 | HM1 | 1034 | 762 | 21 | 62 | -37 | 162 |
| M33 | HM1 | 1048 | 770 | 20 | 59 | -29 | 156 |
| M34 | HM1 | 1039 | 767 | 20 | 61 | -26 | 151 |
| M35 | HM1 | 1042 | 767 | 21 | 63 | -25 | 155 |
| M36 | HM1 | 1036 | 764 | 20 | 62 | -26 | 141 |
| M37 | HM1 | 1048 | 770 | 21 | 63 | -22 | 159 |
| M38 | HM1 | 1036 | 769 | 22 | 64 | -27 | 139 |
| M39 | HM1 | 1033 | 769 | 22 | 62 | -23 | 156 |
| M40 | HM1 | 1031 | 759 | 24 | 65 | -26 | 135 |
| M41 | HM1 | 1044 | 773 | 21 | 61 | -21 | 164 |
| M42 | HM1 | 1070 | 799 | 20 | 61 | -26 | 185 |
| M43 | HM1 | 1062 | 796 | 21 | 62 | -23 | 181 |
| M44 | HM1 | 1053 | 787 | 19 | 58 | -24 | 180 |
| M45 | HM1 | 1090 | 814 | 20 | 59 | -21 | 184 |

【図5】

| 供試材No. | 熱処理No. | 引張強さ (MPa) | 0.02%耐力 (MPa) | 伸び (%) | 収縮 (%) | FATT (°C) | クリープ破断強度 500°C、10 ⁵ 時間破断強度 (MPa) |
|--------|--------|---------------|------------------|-----------|-----------|--------------|---|
| S1 | HS1 | 835 | 602 | 19 | 56 | 19 | 70 |
| S2 | HS2 | 906 | 690 | 24 | 61 | -28 | 18 |
| S3 | HS3 | 938 | 716 | 22 | 58 | -58 | 147 |
| S4 | HM1 | 775 | 536 | 27 | 73 | -43 | 44 |
| S5 | HM1 | 1091 | 801 | 13 | 43 | -11 | 76 |
| S6 | HM1 | 898 | 693 | 19 | 58 | -28 | 84 |
| S7 | HM1 | 1031 | 718 | 21 | 64 | -32 | 79 |
| S8 | HM1 | 845 | 665 | 21 | 63 | -32 | 75 |
| S9 | HM1 | 1028 | 763 | 18 | 56 | -39 | 157 |
| S10 | HM1 | 875 | 671 | 24 | 65 | -25 | 78 |
| S11 | HM1 | 1046 | 777 | 20 | 60 | -25 | 103 |
| S12 | HM1 | 921 | 703 | 22 | 59 | -62 | 147 |
| S13 | HM1 | 1065 | 788 | 19 | 57 | -32 | 79 |
| S14 | HM1 | 1013 | 698 | 22 | 65 | -22 | 71 |
| S15 | HM1 | 1075 | 776 | 12 | 32 | 80 | 127 |
| S16 | HM1 | 787 | 519 | 25 | 74 | -49 | 56 |
| S17 | HM1 | 1056 | 753 | 12 | 39 | 85 | 84 |
| S18 | HM1 | 1037 | 762 | 20 | 61 | -32 | 78 |
| S19 | HM1 | 1044 | 764 | 21 | 59 | -78 | 142 |
| S20 | HM1 | 1021 | 755 | 22 | 64 | -34 | 74 |
| S21 | HM1 | 1103 | 779 | 18 | 44 | -42 | 139 |
| S22 | HM1 | 964 | 724 | 21 | 68 | -19 | 77 |
| S23 | HM1 | 1039 | 763 | 19 | 52 | -45 | 131 |
| S24 | HM1 | 963 | 734 | 21 | 59 | -18 | 77 |
| S25 | HM1 | 1037 | 769 | 19 | 57 | -55 | 134 |

【図6】

| 供試材No. | 熱処理No. | 引張強さ (MPa) | 0.02%耐力 (MPa) | 伸び (%) | 収縮 (%) | FATT (°C) | クリープ破断強度 500°C、10 ⁵ 時間破断強度 (MPa) |
|--------|--------|---------------|------------------|-----------|-----------|--------------|---|
| M1 | HM1 | 1032 | 763 | 22 | 65 | -31 | 126 |
| M1 | HM2 | 1033 | 805 | 21 | 62 | -34 | 126 |
| M1 | HM3 | 1018 | 739 | 21 | 62 | -56 | 94 |
| M1 | HM4 | 1056 | 777 | 21 | 61 | 10 | 142 |
| M1 | HM5 | 1127 | 839 | 19 | 60 | -25 | 121 |
| M1 | HM6 | 989 | 723 | 21 | 65 | -32 | 135 |
| M1 | HM7 | 1129 | 842 | 19 | 59 | -48 | 89 |
| M1 | HM8 | 989 | 725 | 21 | 64 | -7 | 148 |
| M1 | HM9 | 1132 | 891 | 19 | 59 | -47 | 126 |
| M1 | HM10 | 987 | 760 | 21 | 62 | -4 | 151 |
| M1 | HS4 | 778 | 527 | 25 | 73 | 11 | 65 |
| M1 | HS5 | 1048 | 777 | 12 | 35 | 28 | 133 |
| M1 | HS6 | 1320 | 809 | 11 | 34 | 80 | 131 |
| M1 | HS7 | 891 | 625 | 24 | 69 | -25 | 76 |
| M32 | HM1 | 1034 | 762 | 21 | 62 | -27 | 162 |
| M32 | HM2 | 1032 | 810 | 20 | 63 | -28 | 160 |
| M32 | HM3 | 1019 | 737 | 21 | 60 | -51 | 127 |
| M32 | HM4 | 1063 | 756 | 20 | 62 | 4 | 180 |
| M32 | HM5 | 1130 | 840 | 19 | 59 | -23 | 153 |
| M32 | HM6 | 999 | 725 | 21 | 63 | -31 | 162 |
| M32 | HM7 | 1137 | 848 | 20 | 62 | -48 | 191 |
| M32 | HM8 | 993 | 725 | 20 | 61 | -3 | 80 |
| M32 | HM9 | 1140 | 897 | 21 | 62 | -49 | 190 |

【図7】

| | No. | C | Si | Mn | Cr | Mo | V | Ni | Nb | N | B | Re | W | Co |
|-----|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 実施例 | E1 | 0.14 | 0.08 | 0.11 | 11.68 | 1.58 | 0.19 | 2.68 | 0.06 | 0.023 | 0.006 | 0.51 | - | - |
| | E2 | 0.13 | 0.07 | 0.13 | 11.56 | 0.69 | 0.20 | 2.59 | 0.06 | 0.022 | 0.007 | 0.42 | 1.81 | 2.76 |
| 比較例 | V1 | 0.14 | 0.09 | 0.12 | 11.76 | 1.61 | 0.20 | 2.61 | 0.07 | 0.024 | 0.007 | 0.53 | - | - |
| | V2 | 0.13 | 0.08 | 0.14 | 11.63 | 0.71 | 0.19 | 2.64 | 0.06 | 0.023 | 0.006 | 0.40 | 1.79 | 2.83 |

熱処理条件

焼入れ：1030℃×20h→油冷

焼戻し：630℃×30h→空冷

【図8】

| | No. | 試験部位 | 引張試験 | | | | 衝撃試験 FATT (℃) | クリープ破断試験 590℃、10 ⁵ 時間破断強度 (MPa) |
|-----|-----|------|---------------|------------------|-----------|-----------|---------------------|--|
| | | | 引張強さ (MPa) | 0.02%耐力 (MPa) | 伸び (%) | 絞り (%) | | |
| 実施例 | E1 | 表層部 | 1035 | 758 | 22 | 64 | -32 | 131 |
| | | 中心部 | 1045 | 766 | 22 | 63 | -35 | 127 |
| | E2 | 表層部 | 1052 | 794 | 21 | 61 | -29 | 181 |
| | | 中心部 | 1069 | 802 | 20 | 61 | -31 | 175 |
| 比較例 | V1 | 表層部 | 1036 | 755 | 22 | 62 | -31 | 129 |
| | | 中心部 | 1043 | 763 | 21 | 58 | -26 | 126 |
| | V2 | 表層部 | 1067 | 795 | 20 | 61 | -33 | 181 |
| | | 中心部 | 1074 | 800 | 16 | 51 | -18 | 174 |

フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷

識別記号

F I

ターム(参考)

C 2 2 C 38/18
 38/40
 38/44
 38/46
 38/48
 38/54
 F 0 1 D 5/28
 // C 2 2 B 9/18

C 2 2 C 38/18
 38/40
 38/44
 38/46
 38/48
 38/54
 F 0 1 D 5/28
 C 2 2 B 9/18

(72)発明者 山田 政之

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地
 株式会社東芝京浜事業所内

Fターム(参考) 3G002 EA06

4K001 AA42 BA23 FA01 GA14
 4K042 AA25 BA01 BA02 BA14 CA02
 CA07 CA08 CA09 CA10 CA13
 CA15 DA01 DA02